

### 4.3. Problema del 07.02.08

In uno stabilimento industriale alimentare c'è bisogno di una nuova **valvola di regolazione** per una corrente di processo alle seguenti condizioni:

fluido: olio di girasole

densità:  $\rho_f = 0.032 \text{ lb/in}^3$

pressione  $P_2$  a valle della valvola: atmosferica

tensione di vapore:  $P_v = 0.1 \text{ psi}$

coefficiente del rapporto della pressione critica per i liquidi:  $F_F = 0.956$

diametro nominale della linea:  $DN = 60 \text{ mm}$

ma soggetta a variabilità nelle seguenti grandezze:

portata nominale:  $\dot{m} = 8 \div 10 \text{ lb/s}$

pressione a monte della valvola:  $P_1 = 37 \div 44 \text{ psi}$

- a. Calcolare il **coefficiente di efflusso**  $C_v$  per le condizioni di funzionamento della valvola che risultino le più gravose rispetto alla variabilità dei dati di cui sopra

È disponibile una valvola a globo Combraco 57 in acciaio, montaggio flangiato, con caratteristica intrinseca sia **equipercentuale** sia **lineare** sia **parabolica**, *rangeability*  $r = 20:1$ , con i dati del costruttore di cui sotto:

La conversione tra il **coefficiente di portata**  $K_v$  ed il **coefficiente di efflusso**  $C_v$  è la seguente:

$$C_v = 1.16 K_v [=] \text{ gpm (USA) psi}^{-1/2}$$

DN mm	$K_{vn}$ $\text{m}^3 (\text{H}_2\text{O}) / \text{h bar}^{1/2}$
8	3.0
15	9.2
20	12.1
40	17.0
60	29.3
80	34.6

- b. Cosa è il **diametro nominale della valvola**?
- c. **Dimensionare la valvola** per il problema in esame, scegliendo quella con il DN più opportuno
- d. Effettuare la **verifica di cavitazione** secondo la normativa IEC

La valvola, che è stata scelta al punto 3), è inserita in un circuito in cui  $\Delta P_0 = 3 \text{ atm}$ .

- e. Cosa è la **caratteristica installata**?
- f. Scegliere un valore ottimale per l'**autorità V della valvola** e perciò congruente con la scelta della **caratteristica intrinseca** già fatta al prec. punto 3)
- g. Costruire un grafico che riporti per questo valore dell'**autorità V** il rapporto di portata

$$\frac{\dot{V}(h)}{\dot{V}_n}$$

- h. Per questo valore dell'**autorità V**, quanto vale  $\Delta P_n$ ?
- i. Quanto vale  $\dot{V}_n$ ?

The pink painted variables are DATA

The blue painted text is COMMENT

## PROBLEM DATA

fluid:  
sunflower oil  
(olio di girasole)



$$\rho_f := 0.89 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{L}} \quad \text{density}$$

$$\rho_f = 0.032 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3}$$

$$G_f := \frac{\rho_f}{1000 \cdot \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad \text{specific density}$$

$$G_f = 0.89$$

$$P_2 := 1 \cdot \text{atm}$$



$$P_2 = 14.696 \text{ psi}$$

downstream pressure

$$P_v := 0.1 \cdot \text{psi}$$



$$P_v = 6.805 \times 10^{-3} \text{ atm}$$

$$F_F := 0.956$$

$$\text{DN} = 60 \text{ mm}$$

## OTHER DATA

$$F_L := 0.9 \quad \text{ISA S.75.01 norm, Annex D: Globe Valve}$$

$$K_C := 0.8 F_L^2 \quad K_C = 0.648$$

$$r := 20 \quad \text{rangeability}$$

## NEW DEFINITIONS

bar  $\equiv 10^5 \text{ Pa}$  global definition of a new unit (pressure) in MathCad

$$\text{conversion\_factor} := 1.16 \cdot \frac{\text{gal min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}}{\text{m}^3 \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{bar}^{-0.5}}$$

$$\text{DN} := \begin{pmatrix} 8 \\ 15 \\ 20 \\ 40 \\ 60 \\ 80 \end{pmatrix} \text{ mm} \quad K_{vn} := \begin{pmatrix} 3 \\ 9.2 \\ 12.1 \\ 17 \\ 29.3 \\ 34.6 \end{pmatrix} \frac{\text{m}^3}{\text{hr} \cdot \text{bar}^2} \quad C_{vn} := \text{conversion\_factor} \cdot K_v$$

$$C_{vn} = \begin{pmatrix} 3.48 \\ 10.672 \\ 14.036 \\ 19.72 \\ 33.988 \\ 40.136 \end{pmatrix} \text{ gal min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

## DESIGN CALCULATIONS

### 1) $C_v$ CALCULATION

#### 1st case

$$\begin{aligned} P_1 &:= 37 \cdot \text{psi} && \rightarrow && P_1 = 2.518 \text{ atm} && \text{upstream absolute pressure} \\ m_{\text{punto}} &:= 10 \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^{-1} && \rightarrow && m_{\text{punto}} = 4.536 \frac{\text{kg}}{\text{s}} && \text{mass flow rate} \\ V_{\text{punto}} &:= \frac{m_{\text{punto}}}{\rho_f} && \rightarrow && V_{\text{punto}} = 5.097 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} && V_{\text{punto}} = 80.782 \frac{\text{gal}}{\text{min}} && \text{volume flow rate} \\ C_{v1} &:= \frac{V_{\text{punto}}}{\sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_f}}} && \rightarrow && C_{v1} = 16.137 \text{ gal min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} && \text{Valve Flow Coefficient} \end{aligned}$$

#### 2nd case

$$\begin{aligned} P_1 &:= 44 \cdot \text{psi} && \rightarrow && P_1 = 2.994 \text{ atm} && \text{upstream absolute pressure} \\ m_{\text{punto}} &:= 10 \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^{-1} && \rightarrow && m_{\text{punto}} = 4.536 \frac{\text{kg}}{\text{s}} && \text{mass flow rate} \\ V_{\text{punto}} &:= \frac{m_{\text{punto}}}{\rho_f} && \rightarrow && V_{\text{punto}} = 5.097 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} && V_{\text{punto}} = 80.782 \frac{\text{gal}}{\text{min}} && \text{volume flow rate} \\ C_{v2} &:= \frac{V_{\text{punto}}}{\sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_f}}} && \rightarrow && C_{v2} = 14.078 \text{ gal min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} && \text{Valve Flow Coefficient} \end{aligned}$$

#### 3rd case

$$\begin{aligned} P_1 &:= 37 \cdot \text{psi} && \rightarrow && P_1 = 2.518 \text{ atm} && \text{upstream absolute pressure} \\ m_{\text{punto}} &:= 8 \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^{-1} && \rightarrow && m_{\text{punto}} = 3.629 \frac{\text{kg}}{\text{s}} && \text{mass flow rate} \\ V_{\text{punto}} &:= \frac{m_{\text{punto}}}{\rho_f} && \rightarrow && V_{\text{punto}} = 4.077 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} && V_{\text{punto}} = 64.625 \frac{\text{gal}}{\text{min}} && \text{volume flow rate} \\ C_{v3} &:= \frac{V_{\text{punto}}}{\sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_f}}} && \rightarrow && C_{v3} = 12.909 \text{ gal min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} && \text{Valve Flow Coefficient} \end{aligned}$$

#### 4th case

$$P_1 := 44 \cdot \text{psi} \quad \Rightarrow \quad P_1 = 2.994 \text{ atm} \quad \text{upstream absolute pressure}$$

$$m_{\text{punto}} := 8 \cdot \text{lb} \cdot \text{s}^{-1} \quad \Rightarrow \quad m_{\text{punto}} = 3.629 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \text{mass flow rate}$$

$$V_{\text{punto}} := \frac{m_{\text{punto}}}{\rho_f} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{punto}} = 4.077 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad V_{\text{punto}} = 64.625 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \quad \text{volume flow rate}$$

$$C_{v4} := \frac{V_{\text{punto}}}{\sqrt{\frac{P_1 - P_2}{G_f}}} \quad \Rightarrow \quad C_{v4} = 11.263 \text{ gal min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} \quad \text{Valve Flow Coefficient}$$

Pertanto, il dimensionamento verrà affrontato per il caso più "impegnativo" tra quelli sopra indicati, che risulta essere:

$$C_v := C_{v1} \quad \Rightarrow \quad C_v = 16.137 \text{ gal min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

## 2) VALVE SIZING

$$\text{VALVOLA CON CARATTERISTICA } = \% \quad \phi(h) := r^{h-1}$$

Per DN = 40 mm

$$\phi_{0.7} := \phi(0.7) \quad \phi_{0.7} = 0.407 \quad C_{vn4} = 19.72 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} \quad C_{vn4} \cdot \phi_{0.7} = 8.028 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

risulta:  $C_v^* = \phi(0.7)C_{vn} < C_v$ ; NON VA BENE!

Per DN = 60 mm

$$\phi_{0.7} := \phi(0.7) \quad \phi_{0.7} = 0.407 \quad C_{vn5} = 33.988 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} \quad C_{vn5} \cdot \phi_{0.7} = 13.836 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

risulta:  $C_v^* = \phi(0.7)C_{vn} < C_v$ ; NON VA BENE!

### VALVOLA CON CARATTERISTICA LINEARE

$$\phi(h) := h + \frac{1-h}{r}$$

Per DN = 40 mm

$$\phi_{0.7} := \phi(0.7) \quad \phi_{0.7} = 0.715 \quad C_{vn_4} = 19.72 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} \quad C_{vn_4} \cdot \phi_{0.7} = 14.1 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

risulta:  $C_v^* = \phi(0.7)C_{vn} < C_v$ ; NON VA BENE!

Per DN = 60 mm

$$\phi_{0.7} := \phi(0.7) \quad \phi_{0.7} = 0.715 \quad C_{vn_5} = 33.988 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} \quad C_{vn_5} \cdot \phi_{0.7} = 24.301 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

risulta:  $C_v^* = \phi(0.7)C_{vn} > C_v$ ; OK!!

### VALVOLA CON CARATTERISTICA PARABOLICA $\phi(h) := h^2 + \frac{1-h^2}{r}$

Per DN = 40 mm

$$\phi_{0.7} := \phi(0.7) \quad \phi_{0.7} = 0.515 \quad C_{vn_4} = 19.72 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} \quad C_{vn_4} \cdot \phi_{0.7} = 10.166 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

risulta:  $C_v^* = \phi(0.7)C_{vn} < C_v$ ; NON VA BENE!

Per DN = 60 mm

$$\phi_{0.7} := \phi(0.7) \quad \phi_{0.7} = 0.515 \quad C_{vn_5} = 33.988 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5} \quad C_{vn_5} \cdot \phi_{0.7} = 17.521 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

risulta:  $C_v^* = \phi(0.7)C_{vn} > C_v$ ; OK!!

questa scelta è migliore di quella per la car. lineare !

#### 4) CHECK FOR NO CAVITATION (IEC norm) $\rightarrow (\Delta P - \Delta P_{\max}) < 0$

$$P_1 := 37 \cdot \text{psi} \quad \text{dato di progetto adottato alla fine del punto 1)}$$

$$\Delta P := P_1 - P_2 \quad \Delta P = 22.304 \text{ psi}$$

$$\Delta P_{\max} := F_L^2 (P_1 - F_F \cdot P_v) \quad \Delta P_{\max} = 29.893 \text{ psi}$$

$$\Delta P - \Delta P_{\max} = -7.589 \text{ psi}$$

## 6) INSTALLED CHARACTERISTICS

### AUTORITA' DELLA VALVOLA

Essendo la valv. scelta a car. intrins. **parabolica**, dovrà essere:  $0.25 < V < 0.4$   
per semplicità, scegliamo:

$$V := \frac{0.25 + 0.4}{2} \quad \Rightarrow \quad V = 0.325$$

**VALVOLA CON CARATTERISTICA INTRINSECA PARABOLICA DN = 60 mm**  $\phi(h) := h^2 + \frac{1-h^2}{r}$

$$C_{vn} := C_{vn_5} \quad \Rightarrow \quad C_{vn} = 33.988 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{psi}^{-0.5}$$

### PREPARAZIONE DEI DATI PER IL DIAGRAMMA DELLA CARATTERISTICA INSTALLATA

#### **NOTE SULL'USO DI MathCad**

$$h := 0, 0.1..1$$

This is Mathcad's **range variable operator**.

NB: Notice that when you type the semicolon character [;], it displays on the screen as two dots (■..■) surrounded by placeholders.

Notice that ,0.1 represents the **increment** of the **range variable**.

h =	$\phi(h) =$
0	0.05
0.1	0.06
0.2	0.088
0.3	0.136
0.4	0.202
0.5	0.288
0.6	0.392
0.7	0.516
0.8	0.658
0.9	0.82
1	1

These are the values chosen for the independent variable (**h**) and the values calculated for its function  $\phi(h)$ .

**Range variables** in Mathcad are always displayed in a table.

definiamo il rapporto di portate per la **CARATTERISTICA INSTALLATA**:

$$\text{ratio} = V_{\text{punto}(h)} / V_{\text{punto}_n}$$

$$\text{ratio}(h) := \frac{1}{\sqrt{1 - V + \frac{V}{\phi(h)^2}}}$$

This instruction defines **ratio(h)** as a new function of the independent variable **h**.

h =

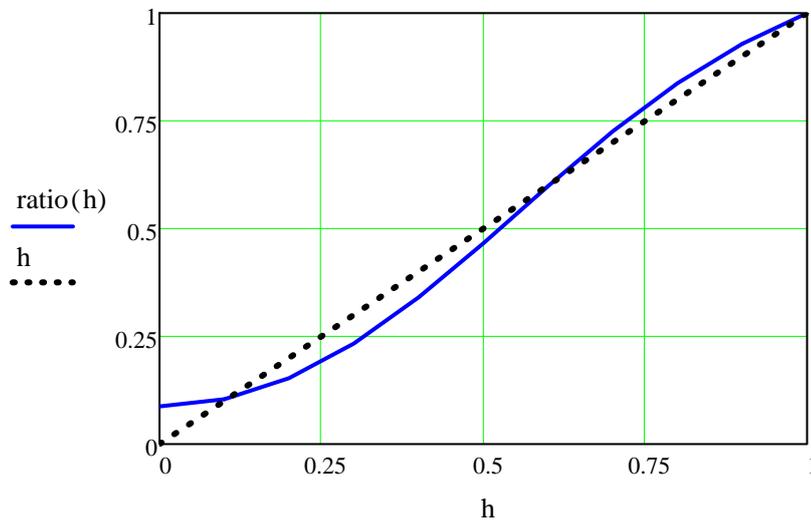
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1

ratio(h) =

0.087
0.104
0.153
0.233
0.34
0.466
0.599
0.726
0.838
0.929
1

These are the values chosen for the independent variable (**h**) and the values calculated for its function **ratio(h)**.

**Range variables** in Mathcad are always displayed in a table.



This is the diagram (non-dimensional) of **ratio(h)**.

NB:

Notice that they are obtained in Mathcad by simply typing the function and the independent variable on the axes, respectively.

### 8) NOMINAL PRESSURE DROP

$$\Delta P_0 := 3 \cdot \text{atm}$$

overall pressure drop  
in the circuit

$$\Delta P_n := V \cdot \Delta P_0$$



$$\Delta P_n = 14.329 \text{ psi}$$

$$\Delta P_n = 0.975 \text{ atm}$$

$$\Delta P_u := \Delta P_0 - \Delta P_n$$



$$\Delta P_u = 29.759 \text{ psi}$$

$$\Delta P_u = 2.025 \text{ atm}$$

### 9) NOMINAL FLOW RATE

$$V_{\text{punto}_n} := C_{vn} \sqrt{\frac{\Delta P_n}{G_f}}$$



$$V_{\text{punto}_n} = 136.374 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$m_{\text{punto}_n} := V_{\text{punto}_n} \cdot \rho_f$$



$$m_{\text{punto}_n} = 7.657 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$m_{\text{punto}_n} = 16.882 \frac{\text{lb}}{\text{s}}$$